

学校编码: 10384

分类号_____密级_____

学号: 19920101152783

UDC_____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

动力锂电池组变倍率均衡充电技术研究

Research on Variable Rate Equalization Charging for
Power Lithium-ion Batteries

张 志

指导教师姓名: 陈文芾 教授

专 业 名 称: 精密仪器及机械

论文提交日期: 2013 年 5 月

论文答辩时间: 2013 年 月

学位授予日期: 2013 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2013 年 05 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（ ） 1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

（ ） 2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学博硕士论文摘要库

摘要

能源和环境是社会可持续发展的重要基础，电动汽车成为全球汽车产业未来发展和竞争的焦点。动力锂离子电池组作为电动汽车的储能装置，其整体性能和使用寿命是制约电动汽车快速发展的关键因素。而锂离子电池组的不一致性是导致电池组性能下降的重要原因，因此，研究如何降低锂离子电池组的不一致性来提高电池组使用效率和使用寿命具有重要意义。

本文从动力锂离子电池组中单体电池的不一致性导致的各种危害的分析出发，研究了常见动力锂离子电池组均衡充放电方式的优缺点，提出了变倍率充电均衡解决方案，该方案在主充电电流的基础上，引入了辅助充电电流，根据各单体电池荷电状态的不同采用不同的充电倍率充电，从而实现均衡充电的目的。

文章系统的介绍了变倍率均衡充电系统中的均衡控制模块、电池状态信息检测模块、主充电电源、均衡模块、人机界面等关键模块的硬件设计及相应的软件设计。文章对主充电电源的全桥变换器、均衡模块的单端反激式变换器的拓扑结构进行了深入分析，解决了在变倍率模式下参数确定及设计计算；为了解决电池状态信息的采集，提出了一种串联电池电压分时接入的测量方法，有效的解决了串联电池电压检测时存在共模信号大的难题。在大量理论工作的基础上，制作了试验样机并搭建了对某型号 40Ah 动力锂离子电池的均衡充电系统实验平台，在该平台上，对三个不同荷电状态的单体电池串联后变倍率充电的时间历经进行了实验，实验表明了变倍率充电方法能够很好的解决不同荷电状态单体电池组成串后均衡充电的难题；对 20 串电池组进行了采用变倍率均衡充电和不采用均衡充电的对比实验，实验结果同样表明，变倍率充电方法能够有效的实现不同荷电状态下单体电池成串后的均衡充电问题。

关键词：动力电池组；均衡充电；变倍率

Abstract

Energy and environmental is an important foundation for the sustainable development of society, and electric cars become the focus of future development and competitive in the global auto industry. Lithium-ion batteries as energy storage devices of the electric car, its overall performance and service life are the key factors restricting the rapid development of electric vehicles. And inconsistency of lithium-ion battery pack is one of the important reasons resulting in a decline in battery performance, therefore, study how to reduce the inconsistencies of the lithium-ion battery pack to improve battery efficiency and service life are important.

To study the single cells by inconsistency in the lithium-ion battery pack lead hazards, and research the common lithium-ion battery equalization charging and discharging way of advantages and disadvantages, this article made variable rate equalization charging for lithium-ion batteries. On the basis of the main charging current, increase the auxiliary charging current, depending on the single battery state of charge used different rate charging, so as to achieve the purpose of equalization charging.

The article introduce the hardware design and software design of the variable rate equalization charging, including equalization charging control, battery state detection module, main charging module, equalization module. The main module charging using full bridge converters topology, equalization charging using single flyback converter topology, they has undertaken an in-depth analysis. We also complete the parameters determination and calculation. In order to solve the battery information collection, proposes a series battery voltage measurement method of time sharing access, this method solve the common-mode signal problems of the in-line battery voltage detection. On the basis of a lot of theoretical work, test prototype was produced, and built a equalization charging system experimental platform of 40Ah lithium-ion battery. On the platform, three different state of charge of single cell in

series using equalization charging in order to show the charging time. Experiments have shown that variable rate charging method can be a good solution to the equalization charging problem of different state of charge single cells in a series. 20 cells were using variable rate equalization charging and without the equalization charging. Experimental results also show that variable rate equalization charging can effectively solve the equalization charging problem of different state of charge single cells in a series.

Key words: Power lithium-ion batteries, Equalization charging, Variable rate charging

目录

第一章 绪论	1
1.1 研究的背景及意义	1
1.2 动力电池及均衡充电技术发展现状	2
1.3 本课题研究的主要内容	5
第二章 均衡充电系统基础技术研究	7
2.1 锂离子电池的基本工作原理	7
2.2 锂离子电池的主要性能参数	8
2.2.1 电压	8
2.2.2 容量与比容量	8
2.2.3 荷电状态 SOC	9
2.2.4 电池内阻	9
2.2.5 电池寿命	9
2.2.6 自放电率	9
2.2.7 充放电速率	10
2.3 锂离子电池的充放电特性	10
2.3.1 充电特性	10
2.3.2 放电特性	11
2.4 锂离子电池充电方法研究	12
2.4.1 恒流充电	13
2.4.2 恒压充电	13
2.4.3 分阶段充电	14
2.4.4 脉冲充电	15
2.4.5 间歇充电	16
2.5 锂离子电池充电方法对比	17
2.6 本章小结	17

第三章 变倍率均衡充电系统设计	19
3.1 动力锂离子电池组不一致性及其危害	19
3.2 典型均衡方案	20
3.2.1 能量耗散型均衡	20
3.2.2 能量非耗散型均衡方案	21
3.3 变倍率充电均衡方案	24
3.4 均衡系统结构框图与控制策略	26
3.5 本章小结	28
第四章 系统硬件设计	29
4.1 均衡控制系统的设计	29
4.1.1 微处理器选取	29
4.1.2 微处理器应用电路	29
4.1.3 微处理器电源设计	31
4.2 电池状态信息检测	32
4.2.1 电压检测	32
4.2.2 温度检测	36
4.2.3 电流检测	37
4.3 充电电源模块	38
4.3.1 均衡模块	40
4.3.2 主充电模块	47
4.4 液晶显示	51
4.5 硬件 PCB 的抗干扰设计	52
4.6 本章小结	53
第五章 系统软件设计	54
5.1 开发环境介绍	54
5.2 软件总体设计	55
5.3 电池状态信息检测软件设计	55

5.3.1 软件滤波算法.....	55
5.3.2 移位寄存阵模块软件设计.....	56
5.3.3 温度采集模块软件设计.....	57
5.4 均衡控制模块软件设计	58
5.5 液晶模块软件设计	59
5.6 软件可靠性设计	61
5.7 本章小结	61
第六章 系统的调试与测试	63
6.1 系统主要硬件照片	63
6.2 系统各模块调试	65
6.2.1 电压温度采集模块.....	66
6.2.2 均衡模块.....	67
6.2.3 故障报警及保护功能.....	69
6.3 均衡充电系统整体测试	69
第七章 总结和展望	72
7.1 总结	72
7.2 展望	72
参考文献	74
致谢.....	78
硕士期间科研成果	79

Content

Chapter 1 Introduction	1
1.1 Research Background and Value.....	1
1.2 Previous Research	2
1.3 The Contents of this Paper	5
Chapter 2 Basic Technology of Equalization Charging	7
2.1 Basic Working Principle of Lithium-ion Battery	7
2.2 Key Performance Indicators of Lithium-ion Battery	8
2.2.1 Voltage.....	8
2.2.2 Capacity	8
2.2.3 SOC	9
2.2.4 Battery Internal Resistance	9
2.2.5 Battery Life	9
2.2.6 Self-discharge Rate	9
2.2.7 Charge and Discharge Rate	10
2.3 Charge and Discharge Characteristics of Lithium-ion Battery	10
2.3.1 Charge Characteristics	10
2.3.2 Discharge Characteristics.....	11
2.4 Charging Method of Lithium-ion Battery	12
2.4.1 Constant Current Charging	13
2.4.2 Constant Voltage Charging.....	13
2.4.3 Multi-Stage Charging.....	14
2.4.4 Pulse Charging Method.....	15
2.4.5 Intermittent Charging	16
2.5 Advantages and Disadvantages of Various Charging	17
2.6 Summary.....	17
Chapter 3 System Design	19

3.1 Inconsistency and Endanger of Power lithium-ion batteries	19
3.2 Typical Equalization Program.....	20
3.2.1 Dissipative Equalization	20
3.2.2 Active Equalization	21
3.3 Variable Rate Equalization Charging	24
3.4 System Structure and Control Strategy	26
3.5 Summary.....	28
Chapter 4 Hardware Design	29
4.1 Equalization Control System	29
4.1.1 Microprocessor Select.....	29
4.1.2 Microprocessor Application Circuit.....	29
4.1.3 Microprocessor Power Supply Design.....	31
4.2 Batteries Status Detection.....	32
4.2.1 Voltage Detection	32
4.2.2 Temperature Detection.....	36
4.2.3 Current Detection.....	37
4.3 Charging Power Module	38
4.3.1 Equalization Module	40
4.3.2 Main Charging Module	47
4.4 LCM Display	51
4.5 Design of PCB Hardware	52
4.6 Summary.....	53
Chapter 5 Software Design	54
5.1 Software Development Environment Description.....	54
5.2 Overall Design	55
5.3 Software Design of Battery Status Detection	55
5.3.1 Software Filtering Algorithm.....	55
5.3.2 Software Design of Shift Register Array Module.....	56

5.3.3 Software Design of Temperature Detection Module	57
5.4 Software Design of Equalization Control Module	58
5.5 LCD Module Software Design	59
5.6 Reliability Design of Software	61
5.7 Summary.....	61
Chapter 6 System Debugging and Testing.....	63
6.1 System Hardware Photos	63
6.2 Module Debugging	65
6.2.1 Voltage and Temperature Detection Module.....	66
6.2.2 Equalization Module	67
6.2.3 Alarm and Protection	69
6.3 Equalization Charging System Testing.....	69
Chapter 7 Summary and Outlook.....	72
7.1 Summary.....	72
7.2 Outlook.....	72
References	74
Acknowledgements	78
Published Paper Introduction.....	79

厦门大学博硕士论文摘要库

第一章 绪论

1.1 研究的背景及意义

能源和环境是社会可持续发展的重要基础，但随着社会经济的迅猛发展，能源与环境问题已经成为十分突出的社会问题^[1]。分析这几年城市大气环境质量的监测数据，可以发现机动车辆排放的污染是一个重要的污染源。大气污染物中的碳氢化合物、一氧化碳、氮氧化合物，超过半数来自于汽车^[2]。自上世纪八十年代，我国私人汽车开始发展，我国的汽车保有量也在不断攀升。据公安部交通管理局发布的统计信息显示，截止 2011 年 8 月，我国机动车的保有量达到 2.19 亿辆，仅低于美国（2010 年 2.4 亿辆），成为世界第二大汽车保有国。目前，我国汽车的保有量还在不断增长，如果不采取有效措施，机动车的排污分担率将进一步上升。由于燃油汽车数量的增长，石油的消耗量也不断增加。据统计，2008 年我国燃油汽车消耗的石油将近 1.5 亿吨，未来这一数字还将呈现上升趋势^[3]。如何解决这些问题，对人们的生活有着重要的意义。

目前，电动汽车做为解决能源与环境问题的有效途径，受到了越来越多的重视。通常情况下，电动汽车可以分为纯电动车（BEV）、混合动力汽车（HEV）、燃料电池电动汽车（FCEV）。其中纯电动汽车和混合动力汽车采用的是高效率的充电电池做为其动力能源，具有低排放、低噪音、高能效、构造简单、便于维修以及可利用用电低谷期间充电等特点，已经成为全球汽车产业未来发展和竞争的焦点。

在电动汽车应用中，动力电池的作用是将自身的化学能转换为电能来驱动电动机，电动机则将电能转换为机械能，通过传动装置或直接驱动车轮和工作装置。因此，发展安全、可靠、持久并且便于携带的动力电池是电动车普及的基本条件。

电池组各单体电池不一致的问题，使得动力电池组的使用寿命远远达不到单体电池的寿命。在对串联锂离子电池组进行充电时，当有几节电池发生容量减小、内基阻变高的情况时，整组电池的性能会在短时间内快速恶化，甚至报废。从这个角度来说，整组电池的寿命取决于性能最差的那节电池。因此，怎样较好的解

决电池组的不一致性，更好的利用电池组的容量，并增加电池组的使用寿命，是解决电动车普及的首要问题。

要解决锂离子电池组的不一致性，主要是从以下几个方面来加以解决：一是提高动力电池的制造工艺，减小电池生产过程中因制造工艺、材料等差异带来的不一致；二是在选择动力电池组时，尽量选择同批次单体电池中内阻、容量等性能指标相近的电池；三是通过辅助的电池均衡系统，改善电池组在使用过程中产生的不一致性，主要是对电池组进行均衡充放电以及防止电池的过充和过放。

近年来学术界对电池组一致性的研究表明，利用外部辅助的电池均衡系统实现对动力电池的均衡充放电控制是保证动力电池组各单体电池容量均衡的有效途径，能有效的提高动力电池组的性能和寿命。

1.2 动力电池及均衡充电技术发展现状

目前，电池的种类繁多，常用的有干电池、蓄电池、以及体积很小的微型电池。除此之外，还有金属-空气电池、燃料电池、太阳能电池、飞轮电池、核电池等。然而，综合安全性、效率、性价比考虑，在电动汽车上使用最多的动力电源还是蓄电池，少部分使用燃料电池或飞轮电池。电动汽车用蓄电池主要为铅酸电池、镍氢电池、锂离子电池、镍镉电池等。各种蓄电池的性能指标比较如表所示^[4]。

表 1.1 电动汽车用蓄电池

电池类型	比能量 ($W \cdot h / kg$)	比功率 (W / kg)	能量密度 ($W \cdot h / L$)	功率密度 (W / L)	循环寿命 (次)
铅酸电池	35	130	90	500	400--600
镍氢电池	80	225	143	470	1000 以上
锂离子电池	100	200	215	778	1200 以上
镍镉电池	55	170	94	278	500 以上

由表 1.1 可知，锂离子电池比能量大，比功率高，循环特性好。而且锂离子电池具有单体电压较高、自放电小、无记忆效应、可快速充放电且效率高等优

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库